

Ψηφιακή Διαμόρφωση

Σύνταξη: Νοέμβριος 07, 2022

Χρήστος Χ. Μηλαροκώστας
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ), Ελλάδα
(e-mail: chmil@di.uoa.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αποτελεί μία παρουσίαση των κυριότερων ψηφιακών διαμορφώσεων: της διαμόρφωσης ολίσθησης πλάτους (Amplitude Shift Keying (ASK)), της διαμόρφωσης ολίσθησης συχνότητας (Frequency Shift Keying (FSK)), της διαμόρφωσης ολίσθησης φάσης και παραλλαγές αυτής (Phase Shift Keying (PSK)), και της ορθογώνιας διαμόρφωσης πλάτους (Quadrature Amplitude Modulation (QAM)).

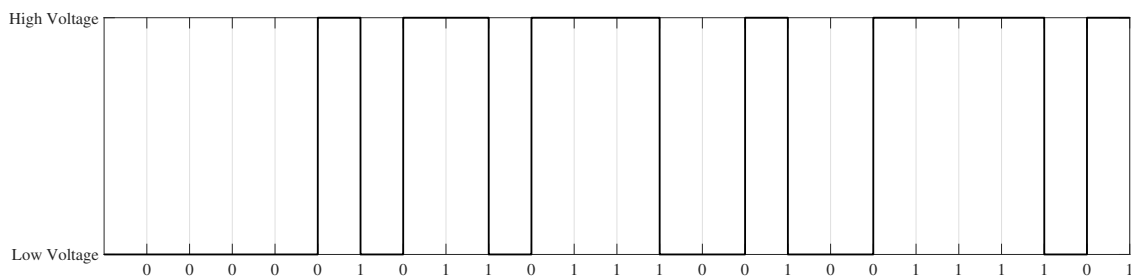
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι ικανός να διεκπαιρεύσει μία πληθώρα εργασιών: σύνταξη εγγράφου, διαμόρφωση παρουσίασης, προβολή εικόνας, αναπαραγωγή ήχου, αποθήκευση δεδομένων, αναζήτηση στον Παγκόσμιο Ιστό, επικοινωνία με άλλους υπολογιστές, κ.α. Αν και όλες αυτές οι εργασίες μοιάζουν ετερογενείς, στην πραγματικότητα βασίζονται στην ίδια αρχή. Ο υπολογιστής αναπαριστά όλες αυτές τις πληροφορίες υψηλού επιπέδου σε ακολουθίες δυαδικών ψηφίων (binary digits (bits)) και, χάρις σε πρωτόκολλα, μπορεί να παρουσιάζει κείμενο, εικόνα, και ήχο που γίνονται αντιληπτά από τους ανθρώπους, αντί για ακολουθίες bits που δεν βγάζουν εύκολα νόημα. Ο υπολογιστής, λόγω του ότι βασίζεται στην παροχή ρεύματος για να λειτουργήσει, χρησιμοποιεί και ο ίδιος ένα πρωτόκολλο. Αντιστοιχίζει μία χαμηλή τάση στο bit 0 και μία υψηλή τάση στο bit 1.

Συνεπώς, ο υπολογιστής, στο χαμηλότερο επίπεδο, χρησιμοποιεί bits. Έστω ότι ένας υπολογιστής θέλει να στείλει σε έναν άλλο υπολογιστή μία ακολουθία από bits, π.χ.,

000001011011100100111101

Την παραπάνω ακολουθία θα μπορούσαμε να τη δούμε και σαν μία ακολουθία παλμών, όπως φαίνεται στο Σχήμα1.



Σχήμα 1: Ακολουθία παλμών προς μετάδοση

Ενώ οι υπολογιστές αντιλαμβάνονται ψηφιακή πληροφορία (διακριτή), τα περισσότερα σήματα που φέρουν την πληροφορία είναι αναλογικά (συνεχή). Επομένως, είναι απαραίτητο ο υπολογιστής να διαμορφώσει κατάλληλα αυτά τα σήματα για να μεταδώσει την πληροφορία.

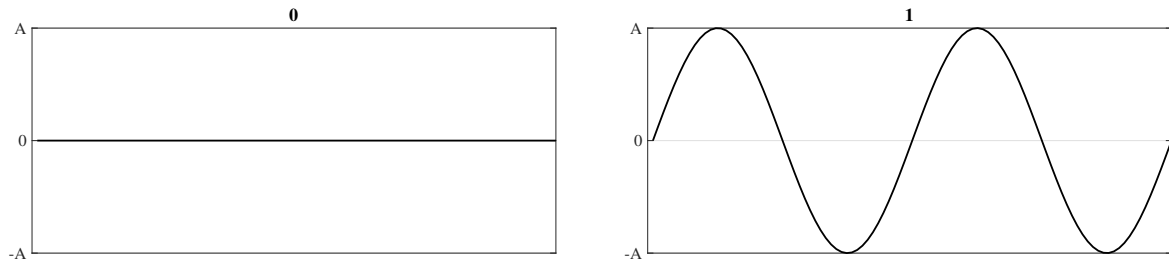
2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

2.1 ASK

Κατά τη διαμόρφωση ASK, έχουμε δύο πιθανά σύμβολα: το 0 και το 1. Το σύμβολο 0 είναι το σταθερό σήμα 0, ενώ το σύμβολο 1 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A και συχνότητα f_c , όπου f_c ονομάζεται η συχνότητα της φέρουσας. Η εξίσωση 1 δίνει τα σήματα για τα δύο σύμβολα.

$$s(t) = \begin{cases} 0, & \text{σύμβολο 0} \\ A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t), & \text{σύμβολο 1} \end{cases} \quad (1)$$

Το Σχήμα2 δίνει τη μορφή των δύο συμβόλων για τη διαμόρφωση ASK.

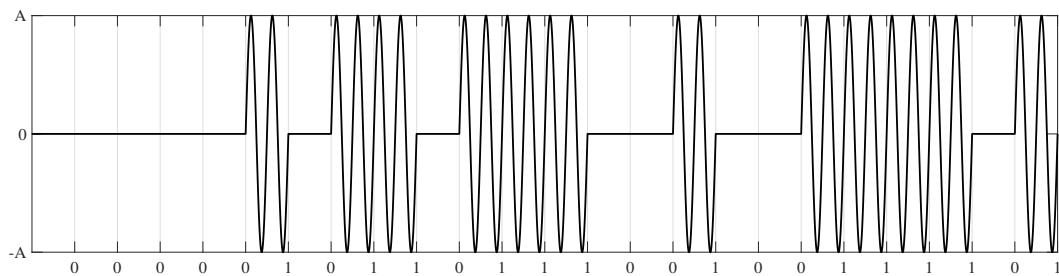


Σχήμα 2: Μορφή των δύο συμβόλων στη διαμόρφωση ASK

Η ακολουθία συμβόλων που έχουμε είναι η:

0 0 0 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 1 0 1

Το Σχήμα3 δίνει την κυματομορφή που θα σταλεί με διαμόρφωση ASK.



Σχήμα 3: Κυματομορφή που στέλνεται με τη διαμόρφωση ASK

Η διαφοροποίηση των δύο συμβόλων στη διαμόρφωση ASK έγκειται στην αποστολή ή μη συνημιτονοειδούς σήματος (διαφορετικά πλάτη των δύο σήματος).

2.2 FSK

Κατά τη διαμόρφωση FSK, έχουμε δύο πιθανά σύμβολα: το 0 και το 1. Το σύμβολο 0 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A και συχνότητα f_1 , όπου f_1 είναι μία χαμηλή συχνότητα, ενώ το σύμβολο 1 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A και συχνότητα f_2 , όπου f_2 είναι μία υψηλή συχνότητα. Η εξίσωση 2 δίνει τα σήματα για τα δύο σύμβολα.

$$s(t) = \begin{cases} A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t), & \text{σύμβολο 0} \\ A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot t), & \text{σύμβολο 1} \end{cases} \quad (2)$$

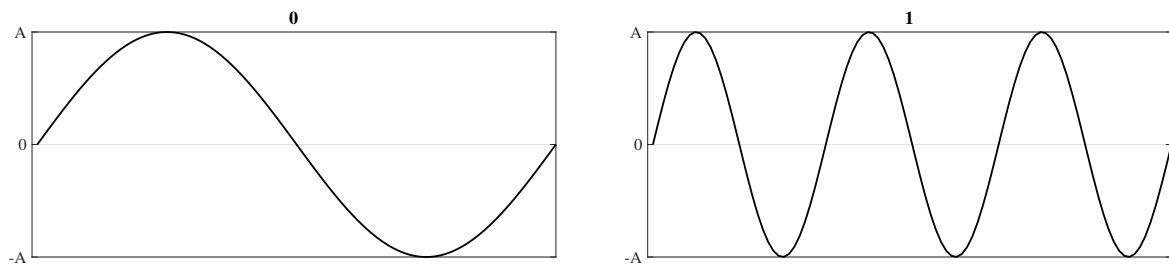
Το Σχήμα4 δίνει τη μορφή των δύο συμβόλων για τη διαμόρφωση FSK.

Η ακολουθία συμβόλων που έχουμε είναι η:

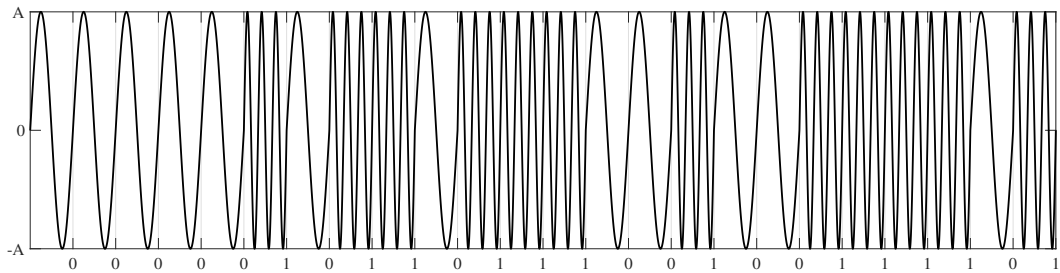
0 0 0 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 1 0 1

Το Σχήμα5 δίνει την κυματομορφή που θα σταλεί με διαμόρφωση FSK.

Η διαφοροποίηση των δύο συμβόλων στη διαμόρφωση FSK έγκειται στην αποστολή ενός συνημιτονοειδούς σήματος με χαμηλή συχνότητα ή ενός συνημιτονοειδούς σήματος με υψηλή συχνότητα (διαφορετικές συχνότητες των δύο σημάτων).



Σχήμα 4: Μορφή των δύο συμβόλων στη διαμόρφωση FSK



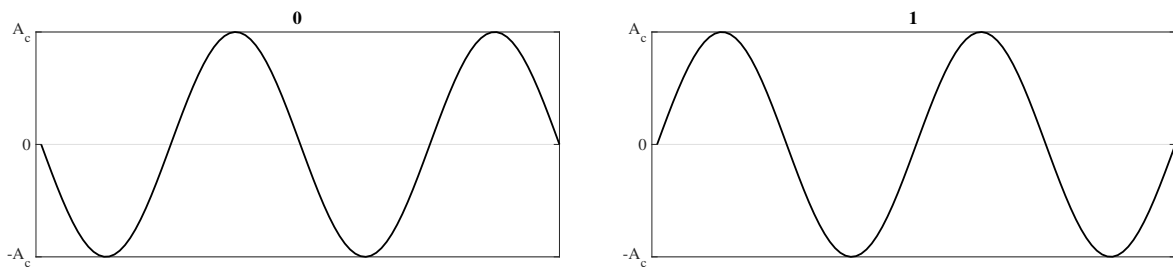
Σχήμα 5: Κυματομορφή που στέλνεται με τη διαμόρφωση FSK

2.3 BPSK

Κατά τη διαμόρφωση Binary Phase Shift Keying (BPSK), έχουμε δύο πιθανά σύμβολα: το 0 και το 1. Το σύμβολο 0 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_c (όπου A_c ονομάζεται το πλάτος της φέρουσας), συχνότητα f_c (όπου f_c ονομάζεται η συχνότητα της φέρουσας) και φάση $\frac{\pi}{2}$, ενώ το σύμβολο 1 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_c , συχνότητα f_c και φάση $\frac{3\pi}{2}$. Η εξίσωση 3 δίνει τα σήματα για τα δύο σύμβολα.

$$s(t) = \begin{cases} A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{\pi}{2}), & \text{σύμβολο 0} \\ A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{3\pi}{2}), & \text{σύμβολο 1} \end{cases} \quad (3)$$

Το Σχήμα6 δίνει τη μορφή των δύο συμβόλων για τη διαμόρφωση BPSK.



Σχήμα 6: Μορφή των δύο συμβόλων στη διαμόρφωση BPSK

Η ακολουθία συμβόλων που έχουμε είναι η:

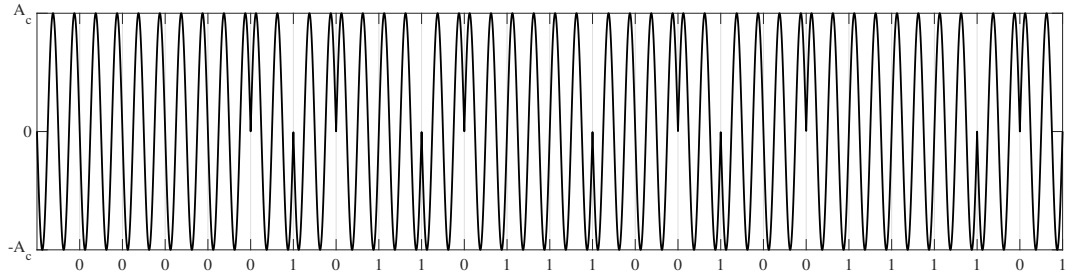
0 0 0 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1 0 1

Το Σχήμα7 δίνει την κυματομορφή που θα σταλεί με διαμόρφωση BPSK.

Η διαφοροποίηση των δύο συμβόλων στη διαμόρφωση BPSK έγκειται στην αποστολή δύο συνημιτονοειδών σημάτων με ανεστραμμένα πλάτη, γεγονός που πρακτικά αλλάζει τη φάση του σήματος (διαφορετικές φάσεις των δύο σημάτων κατά π).

2.4 QPSK

Κατά τη διαμόρφωση Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), έχουμε τέσσερα πιθανά σύμβολα: το 00, το 01, το 10, και το 11. Το σύμβολο 00 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_c (όπου A_c ονομάζεται το πλάτος

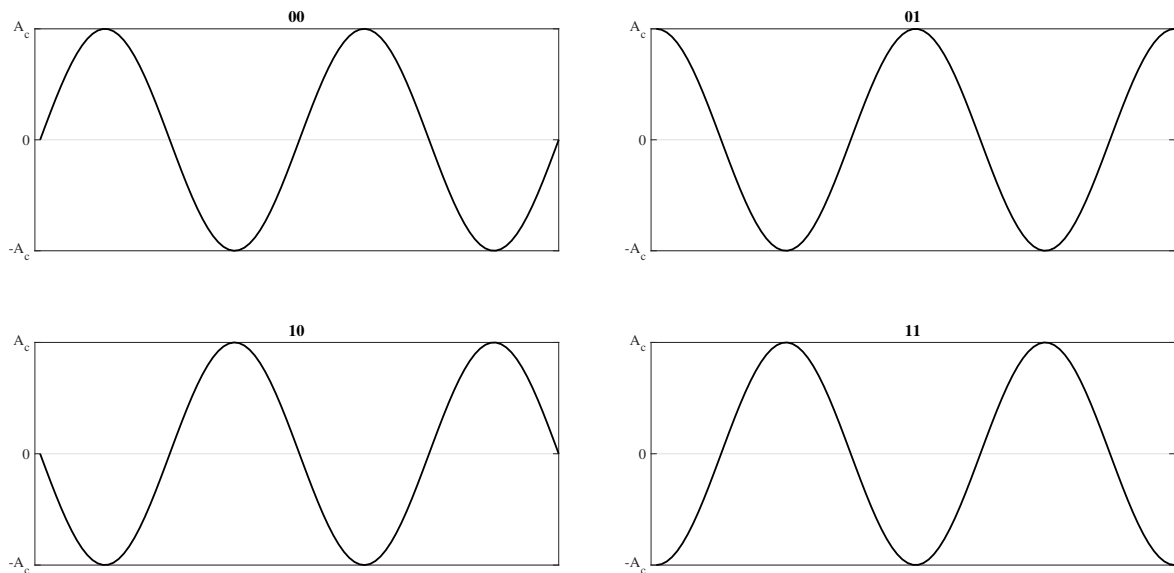


Σχήμα 7: Κυματομορφή που στέλνεται με τη διαμόρφωση BPSK

της φέρουσας), συχνότητα f_c (όπου f_c ονομάζεται η συχνότητα της φέρουσας) και φάση 0, το σύμβολο 01 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_c , συχνότητα f_c και φάση $\frac{\pi}{2}$, το σύμβολο 10 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_c , συχνότητα f_c και φάση π και το σύμβολο 11 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_c , συχνότητα f_c και φάση $\frac{3\pi}{2}$. Η εξίσωση 4 δίνει τα σήματα για τα τέσσερα σύμβολα.

$$s(t) = \begin{cases} A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t), & \text{σύμβολο 00} \\ A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{\pi}{2}), & \text{σύμβολο 01} \\ A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \pi), & \text{σύμβολο 10} \\ A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{3\pi}{2}), & \text{σύμβολο 11} \end{cases} \quad (4)$$

Το Σχήμα8 δίνει τη μορφή των τεσσάρων συμβόλων για τη διαμόρφωση QPSK.



Σχήμα 8: Μορφή των τεσσάρων συμβόλων στη διαμόρφωση QPSK

Η ακολουθία συμβόλων που έχουμε είναι η:

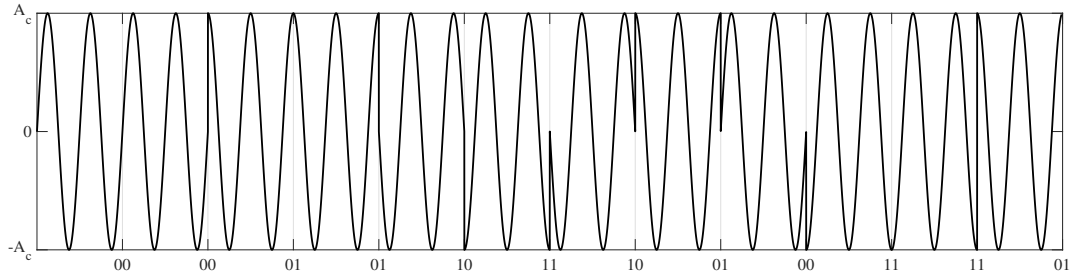
00 00 01 01 10 11 10 01 00 11 11 01

Το Σχήμα9 δίνει την κυματομορφή που θα σταλεί με διαμόρφωση QPSK.

Η διαφοροποίηση των τεσσάρων συμβόλων στη διαμόρφωση QPSK έγκειται στην αποστολή τεσσάρων συνημιτονοειδών σημάτων με διαφορετική φάση του σήματος (διαφορετικές φάσεις των τεσσάρων σημάτων κατά $\frac{\pi}{2}$).

2.5 8-PSK

Κατά τη διαμόρφωση 8-Phase Shift Keying (8-PSK), έχουμε οχτώ πιθανά σύμβολα: το 000, το 001, το 010, το 011, το 100, το 101, το 110, και το 111. Το σύμβολο 000 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_c (όπου

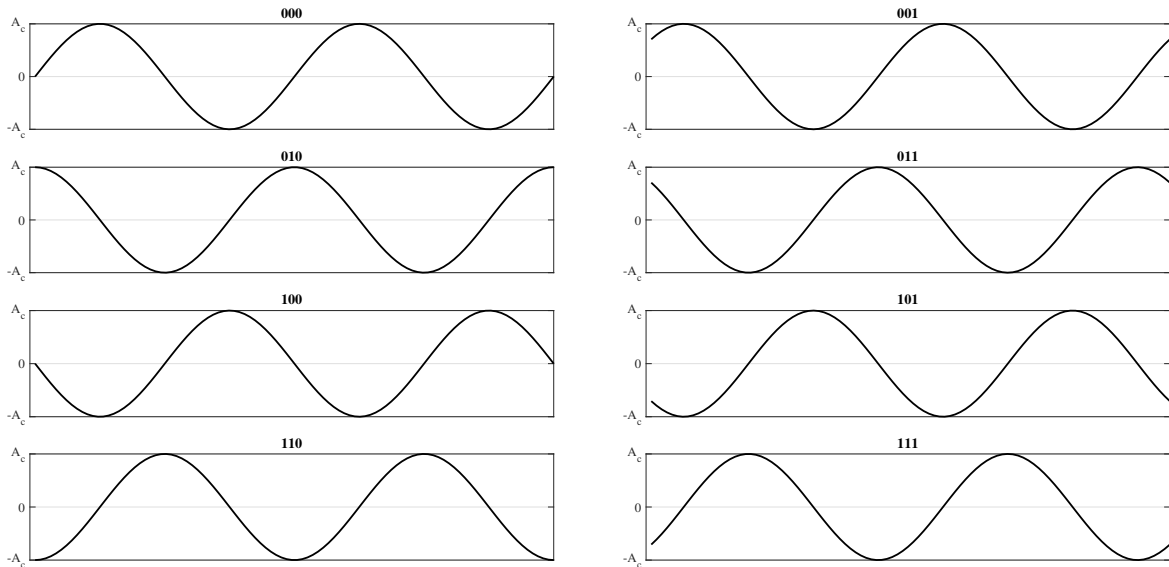


Σχήμα 9: Κυματομορφή που στέλνεται με τη διαμόρφωση QPSK

A_c ονομάζεται το πλάτος της φέρουσας), συχνότητα f_c (όπου f_c ονομάζεται η συχνότητα της φέρουσας) και φάση 0, το σύμβολο 001 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_c , συχνότητα f_c και φάση $\frac{\pi}{4}$, το σύμβολο 010 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_c , συχνότητα f_c και φάση $\frac{2\pi}{4}$, το σύμβολο 011 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_c , συχνότητα f_c και φάση $\frac{3\pi}{4}$, το σύμβολο 100 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_c , συχνότητα f_c και φάση $\frac{4\pi}{4}$, το σύμβολο 101 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_c , συχνότητα f_c και φάση $\frac{5\pi}{4}$, το σύμβολο 110 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_c , συχνότητα f_c και φάση $\frac{6\pi}{4}$ και το σύμβολο 111 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_c , συχνότητα f_c και φάση $\frac{7\pi}{4}$. Η εξίσωση 5 δίνει τα σήματα για τα οχτώ σύμβολα.

$$s(t) = \begin{cases} A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t), & \text{σύμβολο 000} \\ A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{\pi}{4}), & \text{σύμβολο 001} \\ A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{\pi}{2}), & \text{σύμβολο 010} \\ A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{3\pi}{4}), & \text{σύμβολο 011} \\ A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \pi), & \text{σύμβολο 100} \\ A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{5\pi}{4}), & \text{σύμβολο 101} \\ A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{3\pi}{2}), & \text{σύμβολο 110} \\ A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{7\pi}{4}), & \text{σύμβολο 111} \end{cases} \quad (5)$$

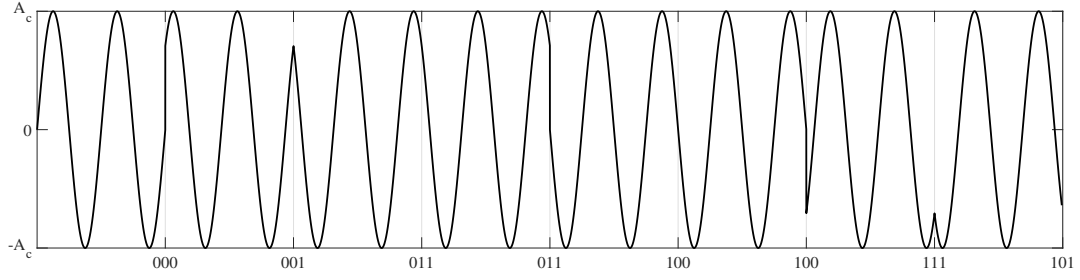
Το Σχήμα10 δίνει τη μορφή των οχτώ συμβόλων για τη διαμόρφωση 8-PSK.



Σχήμα 10: Μορφή των οχτώ συμβόλων στη διαμόρφωση 8-PSK

Η ακολουθία συμβόλων που έχουμε είναι η:

000 001 011 011 100 100 111 101



Σχήμα 11: Κυματομορφή που στέλνεται με τη διαμόρφωση 8-PSK

Το Σχήμα11 δίνει την κυματομορφή που θα σταλεί με διαμόρφωση 8-PSK.

Η διαφοροποίηση των οχτώ συμβόλων στη διαμόρφωση 8-PSK έγκειται στην αποστολή οχτώ συνημιτονοειδών σημάτων με διαφορετική φάση του σήματος (διαφορετικές φάσεις των οχτώ σημάτων κατά $\frac{\pi}{4}$).

2.6 16-QAM

Κατά τη διαμόρφωση 16-Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM), έχουμε δεκαέξι πιθανά σύμβολα: το 0000, το 0001, το 0010, το 0011, το 0100, το 0101, το 0110, το 0111, το 1000, το 1001, το 1010, το 1011, το 1100, το 1101, το 1110 και το 1111. Το σύμβολο 0000 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_0 , συχνότητα f_c (όπου f_c ονομάζεται η συχνότητα της φέρουσας) και φάση $\frac{\pi}{4}$, το σύμβολο 0001 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_1 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{\pi}{4}$, το σύμβολο 0010 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_2 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{\pi}{4}$, το σύμβολο 0011 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_3 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{\pi}{4}$, το σύμβολο 0100 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_0 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{3\pi}{4}$, το σύμβολο 0101 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_1 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{3\pi}{4}$, το σύμβολο 0110 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_2 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{3\pi}{4}$, το σύμβολο 0111 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_3 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{3\pi}{4}$, το σύμβολο 1000 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_0 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{5\pi}{4}$, το σύμβολο 1001 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_1 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{5\pi}{4}$, το σύμβολο 1010 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_2 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{5\pi}{4}$, το σύμβολο 1011 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_3 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{5\pi}{4}$, το σύμβολο 1100 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_0 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{7\pi}{4}$, το σύμβολο 1101 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_1 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{7\pi}{4}$, το σύμβολο 1110 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_2 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{7\pi}{4}$ και το σύμβολο 1111 είναι η συνημιτονοειδής συνάρτηση με πλάτος A_3 , συχνότητα f_c και φάση $\frac{7\pi}{4}$. Η εξίσωση 6 δίνει τα σήματα για τα δεκαέξι σύμβολα.

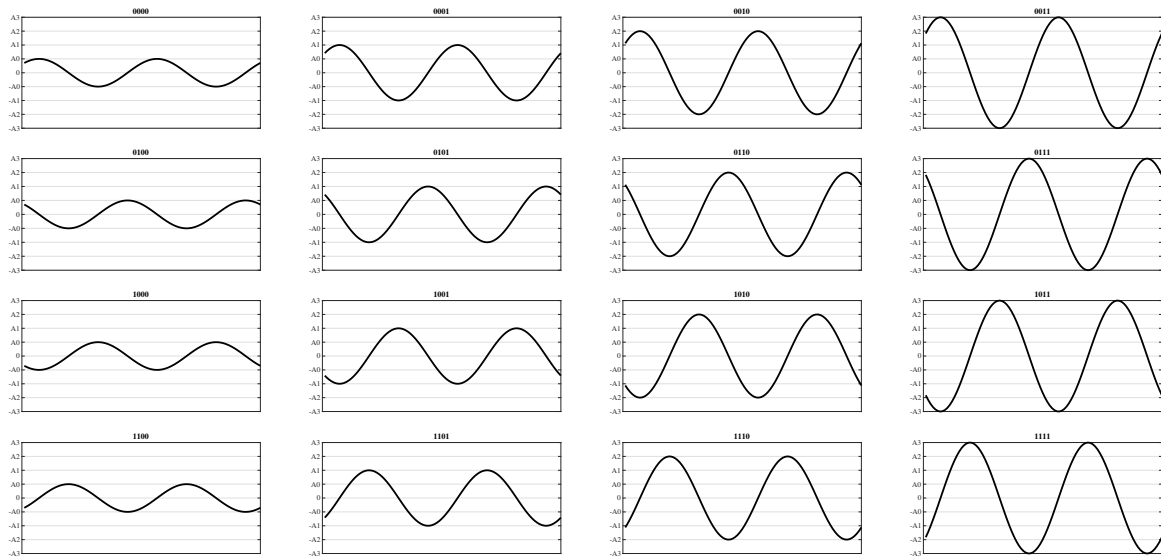
$$s(t) = \begin{cases} A_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{\pi}{4}), & \text{σύμβολο 0000} \\ A_1 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{\pi}{4}), & \text{σύμβολο 0001} \\ A_2 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{\pi}{4}), & \text{σύμβολο 0010} \\ A_3 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{\pi}{4}), & \text{σύμβολο 0011} \\ A_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{3\pi}{4}), & \text{σύμβολο 0100} \\ A_1 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{3\pi}{4}), & \text{σύμβολο 0101} \\ A_2 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{3\pi}{4}), & \text{σύμβολο 0110} \\ A_3 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{3\pi}{4}), & \text{σύμβολο 0111} \\ A_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{5\pi}{4}), & \text{σύμβολο 1000} \\ A_1 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{5\pi}{4}), & \text{σύμβολο 1001} \\ A_2 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{5\pi}{4}), & \text{σύμβολο 1010} \\ A_3 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{5\pi}{4}), & \text{σύμβολο 1011} \\ A_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{7\pi}{4}), & \text{σύμβολο 1100} \\ A_1 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{7\pi}{4}), & \text{σύμβολο 1101} \\ A_2 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{7\pi}{4}), & \text{σύμβολο 1110} \\ A_3 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \frac{7\pi}{4}), & \text{σύμβολο 1111} \end{cases} \quad (6)$$

Το Σχήμα12 δίνει τη μορφή των δεκαέξι συμβόλων για τη διαμόρφωση 16-QAM.

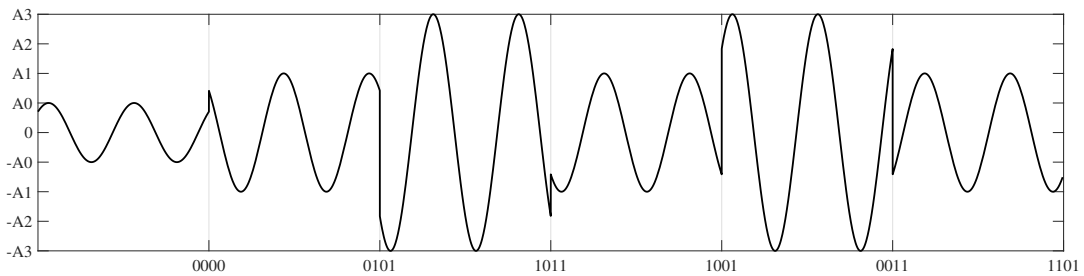
Η ακολουθία συμβόλων που έχουμε είναι η:

0000 0101 1011 1001 0011 1101

Το Σχήμα13 δίνει την κυματομορφή που θα σταλεί με διαμόρφωση 16-QAM.



Σχήμα 12: Μορφή των δεκαέξι συμβόλων στη διαμόρφωση 16-QAM



Σχήμα 13: Κυματομορφή που στέλνεται με τη διαμόρφωση 16-QAM

Η διαφοροποίηση των δεκαέξι συμβόλων στη διαμόρφωση 16-QAM έγκειται στην αποστολή δεκαέξι συνημιτονοειδών σημάτων με διαφορετική φάση του σήματος (τέσσερις διαφορετικές φάσεις των σημάτων κατά $\frac{\pi}{2}$) και με διαφορετικό πλάτος (τέσσερα διαφορετικά πλάτη).

3 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Σε αυτή την εργασία περιγράφονται οι βασικότερες ψηφιακές διαμορφώσεις. Κίνητρο για αυτή την εργασία αποτέλεσε μία άσκηση προς επίλυση που δόθηκε στους φοιτητές του τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς [1]. Κύριες συμβουλευτικές πηγές είναι τα [2] και [3]. Το [2] παρέχει μία εξαιρετική παρουσίαση του θέματος των αστερισμών (constellations) των διαμορφώσεων. Το [3] αποτελεί σημείο αναφοράς στη διδασκαλία του Φυσικού επιπέδου (Physical (PHY) layer). Σήμερα, στην πράξη, χρησιμοποιούνται ψηφιακές διαμορφώσεις με κωδικοποιήσεις συμβόλων που περιλαμβάνουν πολύ περισσότερα bits, π.χ., τα δίκτυα IEEE 802.11 (Wi-Fi) έκτης γενιάς χρησιμοποιούν διαμόρφωση 1024-QAM· σε αυτή τη διαμόρφωση, κάθε σύμβολο αποτελείται από 10 bits και υπάρχουν συνολικά $2^{10} = 1024$ διαφορετικά σύμβολα.

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

8-PSK 8-Phase Shift Keying

16-QAM 16-Quadrature Amplitude Modulation

ASK	Amplitude Shift Keying
BPSK	Binary Phase Shift Keying
FSK	Frequency Shift Keying
PHY	Physical
PSK	Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
bits	binary digits

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Π. Δεμέστιχας. *Δίκτυα Υπολογιστών II, Άσκηση 1.4 Ψηφιοποίηση - Μετάδοση Ψηφιακής Πληροφορίας σε Δίκτυο*. Πειραιάς, Αττική, Ελλάδα, 2022.
- [2] Γ. Καραγιαννίδης. *Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα*. 3η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, Κεντρική Μακεδονία, Ελλάδα, 2016, ISBN: 978-960-418-552-8.
- [3] J. Proakis, M. Salehi. *Συστήματα Τηλεπικοινωνιών*. Μετάφραση: Κ. Καρούμπαλος, Ε. Ζερβάς, Σ. Καραμπογιάς, Ε. Σαγκριώτης, 1η Έκδοση, Εκδόσεις Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα, Αττική, Ελλάδα, 2003, ISBN: 978-960-831-304-0.

ΑΔΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ

Αυτή η εργασία χορηγείται με άδεια Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνής Άδεια.